

POLIMER HABOK ÉS AZOK SPORTOLÁSI CÉLÚ ALKALMAZÁSA – ÁTTEKINTÉS

TOMIN MÁRTON¹DR. KMETTY ÁKOS^{1,2}

1. BEVEZETÉS

Polimer habnak nevezünk minden olyan kétfázisú rendszert, amelyben statisztikus eloszlású, változó méretű gázbuborékok találhatók polimer mátrixban. A habosított polimer termékek előnyös tulajdonságai közé tartozik a kis sűrűség és tömeg, a jó hő- és hangszigetelés, valamint a kiváló energiaelnyelő képesség, amelyek miatt a termékek felhasználási területe igen változatos. Az ipar fejlődésének köszönhetően a polimer habok piaca folyamatosan nő, amit jól mutat, hogy mára az Egyesült Államokban gyártott polimer hab termékek éves összértéke meghaladja a hárommillió tonnát is, amelyen olyan iparágak osztoznak, mint a csomagoló-, az autó-, az építő- vagy a sportszergyártó ipar [1, 2]. Ugyanakkor a polimer habok elterjedésével párhuzamosan komoly erőfeszítést kell tenni azok újrahasznosítására, hasonlóan a nagy mennyiségben keletkező polietilén-tereftalát (PET) anyagokhoz, ahol alternatíva azok tulajdonságnövelt újrahasznosítása (upcycling) [3].

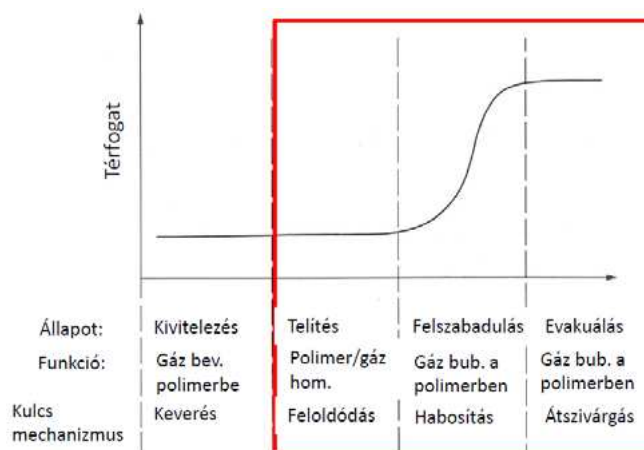
A sportolási célra alkalmazott, habosított polimer termékek legfontosabb tulajdonsága a kiemelkedő energiaelnyelési képesség. Számos sportágban alkalmaznak különböző sportszőnyegeket biztonsági célból vagy a sporttevékenységet biztosító felületként. Az esés utáni ütközés csillapítását szolgáló szőnyegeket használnak falmászó termékekben, tornagyakorlatoknál, rúdugrás során, valamint sípályák behatárolására szolgáló korlátok anyagaként is. Küzdősportok esetében a polimer habstruktúrával szembeni követelmények összetettebbek, hiszen az esések csillapítása mellett a dinamikus sportolási feltételek megteremtése is feladat: biztosítani kell a megfelelő súrlódási tényezőt a sportoló és a szőnyeg interakciója során [4].

2. POLIMER HABOSÍTÁS ÁLTALÁNOS BEMUTATÁSA

A habok struktúrája alapján alapvetően kétféle szerkezeti felépítés különböztethető meg. Zárt cellás habszerkezet esetében a habcellák egymástól elszigetelt állapotban vannak, míg nyitott cellás haboknál a cellák falai egymáshoz kapcsolódnak. A két különböző szerkezeti struktúra alapvetően a termékek

tulajdonságait is meghatározzák: zárt cellás szerkezetű anyagok szilárdsági tulajdonságai jobbak, míg a lágyabb és szívacsosabb megjelenésű nyitott cellás habok nagyobb nedvszívó képességgel rendelkeznek [1, 5].

A habképződés folyamata alapvetően négy egymás utáni lépésre bontható. A habképző szer elosztatását, oldódását követően fokozatosan megkezdődik a buborékgócok képződése, azaz a buborékok megjelenése a polimerben, majd a buborékok térfogata növekedésnek indul, végül a hab elnyeri végleges szerkezetét és hűtés hatására stabilizálódik. A habképződés során lejátszódó térfogatváltozást mutatja be az 1. ábra. Jól látható, hogy a buborékok megjelenésével és növekedésével a térfogat folyamatosan nő, egészen a stabil állapot eléréséig [1].

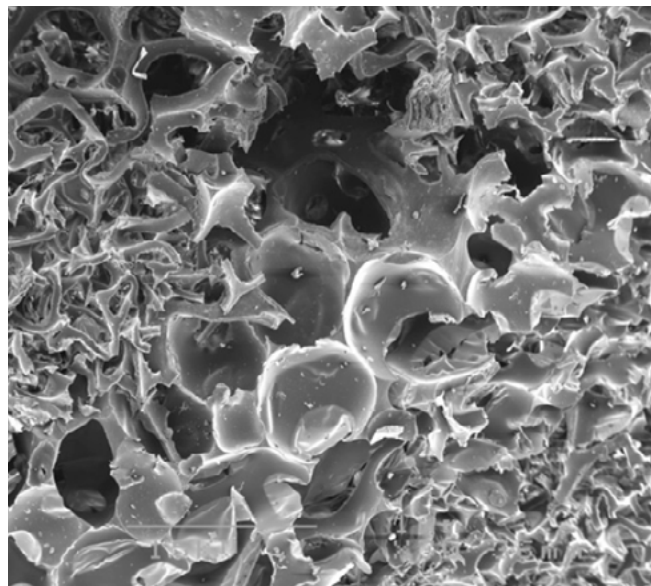


1. ábra. Polimer habképződés folyamata [1]

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék

² adjunktus, MTA—BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

Mint az a habképződés folyamatából is látható, a habosított polimer termékek kiindulási alapanyaga általában a polimer és valamilyen habképző szer, amely a gócképzésért és a cella struktúra kialakításáért felelős anyag. A kiindulási polimer anyag alapján megkülönböztetünk hőre lágyuló és hőre nem lágyuló habokat. Amennyiben a habképző szer kémiai átalakuláson nem megy át, fizikai habképző szernek nevezik. Ekkor a polimer hab kialakulását halmazállapotváltozás biztosítja, amelynek hajtóereje nyomás vagy hőmérséklet különbségre vezethető vissza. A legelterjedtebb fizikai habképző szerek a különböző hidro szénhidrogének, hidro-fluor szénhidrogének és inert gázok (N_2 , CO_2). Ha a habképződés kémiai reakció vagy termikus bomlás eredményeként játszódik le, kémiai habképző szer alkalmazásáról beszélhetünk. Ezek (azo-dikarbonamid, szódabikarbóna stb.) alkalmazásával nagymértékű költségcsökkentés érhető el a feldolgozás során, hiszen a habosítás hagyományos berendezéseken, nagyobb átalakítás nélkül megvalósítható. A kémiai habképző szerek alkalmazása igen elterjedt a hagyományos hőre lágyuló polimer feldolgozástechnológiájában (pl. fröccsöntés, extrudálás) [5, 6].



2. ábra. A "rekonstruált" poliuretán hab elektronmikroszkópi képe [4]

3. SPORTOLÁSI CÉLRA ALKALMAZOTT HABANYAGOK

3.1. „LANDOLÁS” CSILLAPÍTÁSA HABOKKAL

A sportolók esés utáni „landolásának” csillapítására szolgáló matracok legelterjedtebb alapanyaga a nyitott cellás poliuretán hab. A poliuretán (PUR) di- és poliizocianát, illetve di- és polioliol egységek poliaddíciójával létrejövő polimer gyűjtőneve. A poliuretán hab előállítás általában rotációs vagy injektoros keverő segítségével történik, amelyben megfelelő arányban összekeverik az izocianát és polioliol komponenseket, a habképző szert, a különböző tulajdonságmódosító és feldolgozást elősegítő adalékanyagokat. A landoló szőnyegként alkalmazott, „rekonstruált” poliuretán hab gyártástechnológiája a nyitott cellás poliuretán hab tömbök előállítása során levágott hulladékot használja fel. Az 5 és 10 mm közötti átmérőre vágott, különböző keménységű és színű darabokat összekeverik, majd további polioliol és izocianát hozzáadása után egytengelyű nyomó igénybevétel segítségével egyesítik. Ez a szerkezeti kialakítás a sima PUR habbal szemben jobban közelíti a lineáris nyomófeszültség-deformáció kapcsolatot, ami csillapítási szempontból előnyös. A szerkezetben a hozzáadott zárt cellás anyag biztosítja az egyes részek közti kötőerőt [4, 5]. Az így előállított szőnyeg pásztázó elektronmikroszkópi képét mutatja a 2. ábra.

3.2. KÜZDŐSPORT SZŐNYEGEK ALAPANYAGAI

A küzdősport szőnyegekkel szemben támasztott követelmények összetettebbek. Az ezekben a sportágakban gyakran előforduló bokasérülések elkerülése miatt a sportoló lába nem süppedhet be a szőnyegbe, az anyagnak kellően merevnek kell lennie a dinamikus mozgássorok biztosításához [7]. Másik fontos követelmény a kontrollálatlan esések esetén a maradandó

sérülések megelőzése, a fej becsapódásának csillapítása. A küzdősport szőnyegek alapanyagai gyakran eltérőek, alkalmaznak nyitott-, illetve zárt cellás polimer habokat is. Az 1. táblázat a leggyakoribb szőnyeganyag típusokat mutatja be. A zárt cellás polimer habok jellemző rugalmassági modulusza meghaladja az 100 kPa-t, míg a nyitott cellás szerkezetű poliuretán habok rugalmassági modulusz tartománya 10 és 300 kPa között mozog. A sportszőnyegek borító felületének anyaga a legtöbb esetben PVC, amely hegesztéssel vagy ragasztással van hozzá rögzítve a belső habanyaghoz [4].

1. táblázat. Küzdősport szőnyegek habanyag típusai

	Habszerkezet	Izotróp tulajdonság	Jellemző sűrűség [kg/m ³]
Rekonstruált poliuretán	Nyitott cellás	Nem	100-150
Polietilén	Zárt cellás	Izotróp jelleg	40-150
PVC NBR blend	Zárt cellás	Izotróp jelleg	~100

4. SPORTSZŐNYEGEK VIZSGÁLATI MÓDSZEREI

Mivel minden sportágnál a legfontosabb feladat a sportoló egészségének megőrzése, valamint a maradandó sportsérülések elkerülése, a sportszőnyegek minősítésére számos előírás és szabvány került meghatározásra. A sportsérülések legrosszabb esete, amikor a sportoló feje csapódik be először a szőnyegbe és a testre, valamint a fejre ható sebességvektorok iránya azonos. Ilyenkor a teljes terhelés a fej felső régióját érinti, és ez a nyakcsigolya súlyos károsodását eredményezheti. A szőnyegek feladata az ilyen jellegű becsapódások megfelelő csillapítása és a maradandó károsodás megakadályozása. A becsapódás

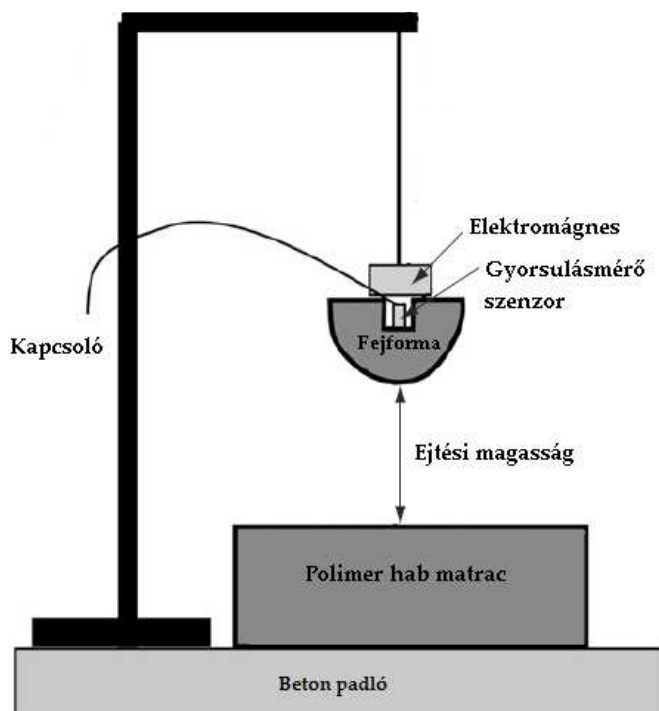
modellezésére, a szőnyegek minőségének ellenőrzésére több különböző módszer került kidolgozásra. Egyes tanulmányokban végelelemes analízis segítségével modellezték a szőnyegre ható terhelést és így vizsgálták a polimer habanyagok viselkedését, az ébredő terheléseket. Két eljárás terjedt el, amelyek eltérő modellalkotás mellett vizsgálják a habanyagokat. A statikus FEA nem lineáris, elasztikus anyagként modellezi a polimer habot, és a modellezésből kapott eredményeket kísérleti eredmények összevetésével validálja, míg a dinamikus FEA esetében a polimer hab leírására nem lineáris, viszkoelasztikus anyagviselkedést feltételeznek [4, 8].

Elterjedtebb módszer az ejtődárdás vizsgálat alkalmazása, amelynek célja az adott testre az ütközés során ható gyorsulási érték, valamint az anyag energiaelnyelő képességének meghatározása. Ilyen eszköz fejlesztését valósította meg Lyn és Mills. Kutatásuk során különböző vastagságú poliuretán szőnyeget vizsgáltak (2. táblázat) [8].

2. táblázat: Vizsgált poliuretán hab szőnyegek [8]

Szőnyeg vastagság [m]	Sűrűség [kg/m ³]	Relatív nyomószilárdság $\varepsilon=0,3$ alakváltozásnál [-]
0,1	63,3	1,00
0,2	75,7 ± 0,7	1,29
0,4	72,2 ± 0,1	1,00

Az általuk készített mérőberendezés elvi felépítését a 3. ábra mutatja be.



3. ábra. Mérőeszköz elméleti felépítése [8]

A fej modellezésére szolgáló, 58 cm területű és 4,1 kg tömegű súlyt elektromágnesek segítségével rögzítették és ejtették le különböző poliuretán matracokra eltérő magasságokból (0,125–1 m). A tömegre vertikális irányban egy egytengelyű gyorsulásmérő szenzort rögzítettek, amely segítségével detektálták a testre ható gyorsulást az idő függvényében. Ezen adatsorból számítás után meghatározhatóvá vált a fejre ható erő, valamint a matrac deformációja az ütközés során. Mivel a fejforma az átlagos férfi fejméretnél kisebb volt, így az eredmények kiértékelésekor a tömegre ható erőket és a habanyag deformációját vizsgálták. A leejtett geometriára ható gyorsulás érték bármilyen tömegű testre meghatározható ezen adatokból Newton második törvényének felhasználásával [8].

Eredményeik alapján a szőnyegek merevsége csupán kismértékben változik különböző vastagságok esetén, 100 mm vastagságnál 7,4 MPa, míg 400 mm vastagságnál 9,6 MPa értéket detektáltak. Az ébredő gyorsulás a vastagabb szőnyegek esetében lineárisan változott, ezáltal a gyorsulás meghatározható bármilyen elméleti becsapódási sebességre. Vizsgálatuk kitért az ismétlődő igénybevétel hatásának tanulmányozására is. 10 perces időintervallum alatt 5 ejtést kivitelezve rámutattak, hogy a zárt cellás polietilén habokkal ellentétben, a poliuretán hab esetében nem tapasztalható a mechanikai jellemzők romlása ismétlődő terhelés hatására [8].

A birkózásban alkalmazott szőnyegekre vonatkozó előírás is hasonló elvű minősítési módszer alkalmazását írja elő. Az Egyesült Államokban a szőnyegek vonatkozó követelményeket, vizsgálati módszereket az ASTM F1081 szabvány határozza meg. A szabvány kiterjed mind a főiskolai, mind a nemzetközi versenyeken használt szőnyegekre. A dokumentum előírásokat tartalmaz ejtődárdás vizsgálatra, a szőnyegek vastagságára, valamint az anyagok szakítószilárdságára is [9].

A megfelelő csillapítási képesség mellett fontos feladata a küzdősport szőnyegnek a megfelelő súrlódási tényező biztosítása a sportoló-szőnyeg interakció során. Kicsi súrlódási tényező esetén megnő a sérülések veszélye, valamint csökken a sportolók teljesítménye, mivel a súrlódási veszteség hatására kisebb erőátvitelre lesznek képesek. A súrlódási tényező fontosságát vizsgálták kutatásukban Newton és társai. Kísérleteik célja a birkózásban használt szőnyegek és a birkózócipő közti súrlódási tényező meghatározása volt különböző körülmények mellett. A sportoló súlyának modellezésére egy acél tömeget helyeztek a cipőbe, majd a cipőt meghatározott irányba húzva detektálták a fellépő súrlódási erőket új és régi, valamint nedvesített és száraz felületű szőnyegek esetében. Eredményeik alapján kijelenthető, hogy a szőnyegek mechanikai tulajdonságai a folyamatos használat hatására egyre csökkennek, hiszen az öregebb, ezáltal már többször használt matracoknál a súrlódási tényező értéke minden esetben kisebbnek adódott, mint az új szőnyegekben való vizsgálatoknál [10].

A nemzetközi viszonylatban érvényben lévő szabványok egy meghatározott geometriájú és tömegű súly adott magasságból történő ejtése utáni becsapódásának vizsgálatát írja elő. A vizsgálat négy mechanikai paraméter meghatározására irányul: definiálva van az ütközés során a maximális benyomódás, a tömegre ható maximális gyorsulás, a maximális ütközési idő, valamint a minimális energiaelnyelés értéke (3. táblázat) [11].

3. táblázat. Nemzetközi birkózó szövetség által kiadott előírások [11]

Jellemző	Maximális benyomódás	Ütközési idő	Maximális gyorsulás	Minimális energiaelnyelés
Érték	38 mm	50 ms	30 g	70%

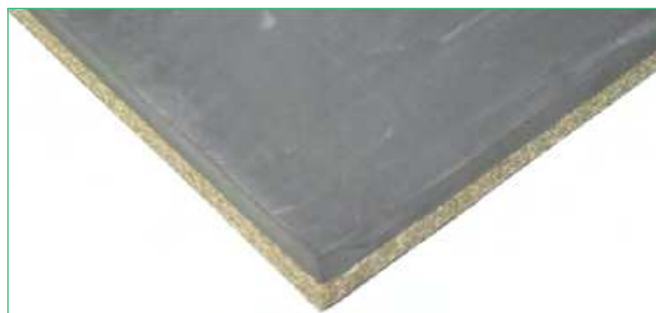
A szabvány az öregedés, valamint a folyamatos használat hatására romló mechanikai tulajdonságokkal rendelkező szőnyegek alkalmazásának elkerülésére a versenyeken alkalmazott szőnyegek életkorát is szabályozza. Egy szőnyeg megfelelő minősítése egy évig érvényes [11]. Az előírások alapján jelenleg 10 szőnyeggyártó cég rendelkezik elfogadott minősítésű szőnyeggel, ám mivel az alapanyagra semmilyen szabályozás nem vonatkozik, a polimer hab szőnyegek kiindulási anyaga eltérő. Egyes gyártók, például a kínai Taishan Industries kizárólag térhálósított polietilén habot használ, míg a francia O'Jump poliuretánt és térhálós polietilén (XPE) rétegeket kombinál (4. ábra) [12-14].

A BS EN 12503 európai szabvány az ejtődárdás vizsgálat mellett szintén tartalmazza a szőnyegek felületén fellépő súrlódás vizsgálatát. A szabvány egy meghatározott tömegű, geometriájú és méretű test folyamatos forgatását írja elő, miközben a szőnyeg és a test közötti kontaktus állandó. Az alkalmazott forgatónyomatékokat a vizsgálat során mindaddig növelni kell, amíg a test folyamatos mozgásba nem lendül, és az ebben az időpillanatban jelentkező nyomaték értéke kerül rögzítésre. A szabvány a statikus merevség vizsgálatára is kiterjed. Ezzel a mérési módszerrel a rugalmas padlózat hatását modellezzik, amelynél a deformációnak egy részét nem a szőnyeg, hanem a szőnyeg alatti talaj elmozdulása eredményezi [15].

Sportszőnyegek minősítésére alkalmazott módszerek továbbá a lángállóság, az éghetőség vizsgálata, amelyre Amerikában az ASTM E648 szabvány előírásai a mérvadók [16]. Ezen kívül fontos a szakítószilárdság, az alakváltozási képesség, az állandó terhelést követő visszaalakulási képesség, valamint a nedveségfelvételi tulajdonságok ismerete, a pontos termékspecifikációk ezeket a jellemzőket is tartalmazzák [17].

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A polimer habok felhasználása, számos előnyös tulajdonságuknak köszönhetően, rohamosan növekszik. A kiváló csillapítási és energiaelnyelési jellemzők révén a sportszeriparban előszeretettel alkalmazott alapanyagnak tekinthetők a különböző landolási és egyéb küzdősport szőnyegek gyártásában.



4. ábra. Felső polietilén és alsó poliuretán habréteg (O'Jump szőnyeggyártó) [14]

A különböző habstruktúrák jellemző tulajdonságait alapvetően a kiindulási polimer alapanyag, a hozzáadott habképző szer, valamint a gyártástechnológia határozza meg. A fal-mászás, a rúdugrás, valamint a torna sportágakban a sportoló landolásának csillapítására bevezetett landoló matracok alapanyaga jellemzően „rekonstruált” poliuretán hab. A küzdősport szőnyegek esetén összetettebbek a követelmények, mivel a szőnyeg nagymértékű besüppedése a bokasérülések egyik fő forrása, illetve a sportágban jellemző mozgatsorok dinamikus kivitelezését is akadályozza. Ezen sportágakban a poliuretán habok mellett megjelenik a (térhálós) polietilén habok, illetve a PVC/NBR habok alkalmazása is.

A különböző sportszőnyegek minőségének ellenőrzésére számos szabvány, sportágspecifikus előírás, illetve kutatás született. A legveszélyesebb sportsérülés a fej szőnyeggel való ütközése során következik be, hiszen fennáll a sportoló egészségének maradandó károsodása. Ennek az eshetőségnek a modellezésére általában ejtődárdás vizsgálatokat végeznek, és így vizsgálják a szőnyeg csillapítási tulajdonságait, detektálják a leejtett tömegre ható terhelést. Mivel egyes sportágakban a szőnyegek vonatkozó előírások csak a különböző mechanikai paraméterek biztosítására terjednek ki, a sportszergyártók által forgalmazott termékek alapanyaga eltérő, sok esetben különböző alapanyagú polimer habrétegek kombinálásával gyártott sportszőnyegek is fellelhetők.

Összességében a polimer habok felhasználási területe igen széleskörű, amelyből egy meghatározó szegmens a sportolási célra gyártott termékek, sportszőnyegek. Áttekintésünk során rámutattunk a leggyakrabban alkalmazott alapanyagokra, az egyes sportágakban használt matracok követelményeire, valamint a sportszőnyegek vizsgálati módszereire.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nanotechnológia (BME FIKP-NANO) tématerületi programja keretében.



Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-4-III kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.



IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Lee, S.-T.; Park, C. B.; Ramesh, N. S.: Polymeric foams, Taylor&Francis, Boca Raton (2007).
- [2] Grand View Research: Polymer Foam Market Analysis By Type (Polyurethane Foam, Polystyrene Foam, PVC Foam, Phenolic Foam, Polyolefin Foam, Melamine Foam) By Application (Packaging, Building & Construction, Furniture & Bedding, Automotive), And Segment Forecasts To 2024 (2016).
- [3] Ronkay, F.; Czigány, T.: Development of composites with recycled PET matrix, Polymers for Advanced Technologies, 17, 830-834 (2006).
- [4] Mills, N. J.: Polymer Foams Handbook, Butterworth-Heinemann, Oxford (2007).
- [5] Eaves D.: Handbook of Polymer Foams, Rapka Technology Ltd., Shawbury (2004).
- [6] Czvikovszky, T.; Nagy, P.; Gaál, J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest (2000).
- [7] Garrick, J. G.: The frequency of injury, mechanism of injury, and the epidemiology of ankle sprains, Am. J. Sports Med, 5, 241-242 (1977).
- [8] Lyn, G.; Mills, N. J.: Design of foam crash mats for head impact protection, Sport Eng., 4, 153-163 (2001).
- [9] ASTM F1081-09: Standard Specification for Competition Wrestling Mats, ASTM International, West Conshohocken (2015).
- [10] Newton, R.; Doan, B.; Meese, M.; Conroy, B.; Black, K.; Sebastianelli, W.; Kramer, W.: Interaction of wrestling shoe and competition surface: effects on coefficient of friction with implications for injury, Sports Biomech, 2, 157-166 (2002).
- [11] United World Wrestling: Regulations for the licensing of mats, 4, 4-5 (2018).
- [12] <https://unitedworldwrestling.org/governance/licensed-mats> (2018.06.11.).
- [13] <http://www.taishansports.com/en/index.php> (2018.06.11.).
- [14] <https://www.gymnova.com/upload/ojump/catalogues/tapis-de-lutte-en.pdf> (2018.06.11.).
- [15] BS EN 12503: Sport mats, British Standard Institution, London (2001).
- [16] ASTM E648-08: Standard Test Method for Critical Radiant Flux of Floor-Covering Systems Using a Radiant Heat Energy Source, ASTM International, West Conshohocken (2008).
- [17] Resilite: Mat Specifications RSP625, https://www.resilite.com/wordpress/wp-content/uploads/2017/01/Resilite_RSP625_Spec_0415.pdf (2018.06.19.).

Distribution of *Plastics & Elastomers*

TÖMEGMŰANYAGOK				
LLDPE C4-C6-C8, mLLDPE, HDPE, LDPE, EVA, PP, PP kompaundok, PET, POP, PLA, GPPS, HIPS				
MŰSZAKI MŰANYAGOK				
ABS, ASA, SAN, PC, PC/ABS, POM, PA6, PA66, PA66/6, PA11, PA12, PA4.6, PA6.10, PPA, LCP, LFC, PBT, PCT, PMMA, PPS, PVDF				
ELASZTOMEREK, KAUCSUK ALAPANYAGOK				
TPE-A, TPE-S, TPE-V, TPE-U, TPE-O, TPE-C, EPDM, SBR, POE, BR, NBR, TSR-10, TSR-20, CV, RSS, Latex, SIO2				

IRODA: RESINEX HUNGARY KFT. 1117 Budapest, Hengermalom u. 47/a

web: www.resinex.hu

Telefon: +36 1 371 1831

RAKTÁR: TRANS-SPED KFT. 2890 Tata, Barina u. 1

web: www.trans-sped.hu

Telefon: +36 34 586 622